

**RANCANG-BANGUN DETEKTOR RADIASI NONPENGION
DI SEKITAR SALURAN UDARA TEGANGAN EKSTRA TINGGI (SUTET)**
*(Design and Development of Non-Ionizing Radiation Detector
around the Extra High Voltage Transmission Line)*

Agus Budhie Wijatna¹, Sunarno²

ABSTRACT

The Extra High Voltage Transmission Line (EHVTL) which was construction in the populated area creates significant implication in psychological impact to the people. It must be due to the rumor that the non-ionizing electromagnetic radiation causes some problem in the surrounding people's health.

In order to confirm the non-ionizing radiation impact on the people, the research has been conducted around of EHVTL, which is located in Bowan Village, District Delanggu, Klaten, Central Java, Indonesia. A detector for non-ionizing radiation were developed and used accordingly.

The simulation results and the measurement results show that the maximum intensity of electric field levels were 0.014kV/m. These levels are significantly lower than the maximum level of the International Standard for Non-Ionizing Radiation Level, i.e., 10 kV/m. Average the maximum intensity of magnetic field levels were 0.650mT, which are higher than the maximum level of the International Standard for Non-Ionizing Radiation Level, i.e., 0.5mT.

This detector for non-ionizing radiation can as well be used by the designers and engineers who work in the electric energy transmission field.

Keywords: non-ionizing radiation, electromagnetic, electric field, magnetism field

PENDAHULUAN

Kebutuhan daya listrik saat ini semakin besar, sehingga sistem penyaluran daya membutuhkan jaringan yang terintegrasi dan efisien. Untuk itu, pemerintah telah membangun Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET) 500 kV. Tegangan ekstra tinggi dan munculnya gelombang elektromagnetik di sekitar saluran udara tersebut menimbulkan kekhawatiran banyak pihak, terutama pada penduduk yang tinggal di bawah lintasan SUTET. Masalah ini sering menjadi isu yang menimbulkan pro dan kontra di masyarakat. Beberapa kelompok penduduk telah mengangkat isu tersebut menjadi isu nasional dan dampaknya berpengaruh pada perkembangan ketenagalistrikan di Indonesia.

Ketakutan ini tampaknya berawal pada pernyataan ahli epidemiologi bahwa SUTET dapat membangkitkan medan elektrik dan medan magnetik yang berpengaruh buruk terhadap kesehatan manusia. Masyarakat bahkan ada yang mengeluh pusing-pusing walaupun belum dapat dibuktikan penyebabnya. Kehadiran medan elektrik dan medan magnetik di sekitar kehidupan manusia tidak dapat dirasakan oleh indera manusia, kecuali jika intensitasnya cukup besar dan terasa hanya bagi orang yang hipersensitif saja.

Medan elektrik dan medan magnetik termasuk kelompok radiasi nonpengion (panjang gelombang, $\lambda \geq 1$ nm). Radiasi nonpengion relatif tidak berbahaya, berbeda sama sekali dengan radiasi pengion, seperti

radiasi α , β , γ dan sinar-X ($\lambda < 1$ nm).

Pengungkapan efek pada tubuh manusia yang dimunculkan dapat saja sebagai akibat adanya faktor kebetulan, atau karena ketakutan dan kekhawatiran yang berlebihan, atau karena efek radiasi elektromagnetik SUTET tersebut. Untuk itu, diperlukan suatu alat yang mampu mengukur besarnya radiasi nonpengion di daerah SUTET.

TUJUAN PENELITIAN

Mengembangkan detektor yang dapat dipergunakan untuk mengukur besarnya radiasi nonpengion di daerah SUTET.

TINJAUAN PUSTAKA

Radiasi Elektromagnetik sebagai Radiasi Nonpengion

Radiasi nonpengion didefinisikan sebagai penyebaran atau emisi energi melalui suatu media dan energi radiasi yang diserap tidak mampu menginduksi terjadinya proses ionisasi dalam media tersebut. Istilah radiasi nonpengion secara fisika mengacu pada radiasi elektromagnetik dengan energi lebih kecil dari 10 eV yang antara lain meliputi sinar ultraviolet, cahaya tampak, inframerah, gelombang-mikro (*microwave*) dan frekuensi radio elektromagnetik. Selain itu *ultrasound* juga termasuk dalam radiasi nonpengion.

¹ Agus Budhie Wijatna, Staf Pengajar Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknik - UGM

² Sunarno, Staf Pengajar Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknik - UGM

Berdasarkan panjang gelombangnya, radiasi nonpengion diklasifikasi menjadi dua, yaitu radiasi optis dengan panjang gelombang (λ) antara 100 nm sampai 1 mm dan radiasi frekuensi radio elektromagnetik antara 1 mm sampai sekitar > 100 km. Spektrum radiasi elektromagnetik yang meliputi radiasi pengion dan nonpengion tampak pada Gambar 1.

Besaran EM yang mempengaruhi *biological tissues* adalah frekuensi, *power* dan *gain* dari antenna. ICNIRP (*International Commission on Non-ionizing Radiation Protection*) mengeluarkan *guidelines*. Nilai-nilai batas yang tidak boleh dilewati oleh segala macam sumber radiasi berdasarkan frekuensi. Besaran yang dipakai adalah *electric/magnetik field intensity* dan *specific absorption rate* (SAR), yang menyatakan seberapa banyak energi diserap oleh tubuh, yang kemudian menyebabkan kenaikan temperatur tubuh.

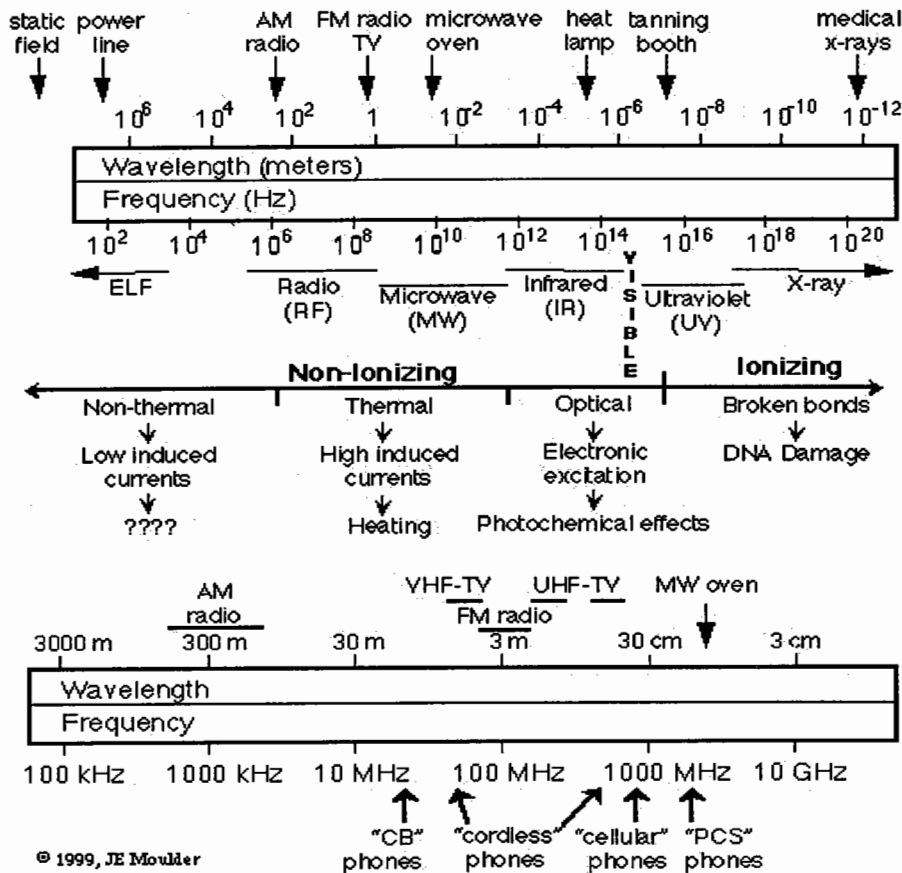
Berdasarkan konsensus ilmiah ini, badan-badan dan negara-negara menggunakan pendekatan yang

berbeda-beda dalam menyusun undang-undang keselamatan.

Batas Pajanan Medan Elektrik dan Medan Magnetik

Kriteria yang dipakai dalam penentuan batas pajanan menggunakan rapat arus yang diinduksi dalam tubuh. Karena arus-arus induksi dalam tubuh tidak mudah diukur secara langsung maka penentuan batas pajanan diturunkan dari nilai kriteria arus induksi dalam tubuh yang berupa kuat medan elektrik (E) yang tidak terganggu dan rapat fluks magnetik (B).

Pemerintah Indonesia mengadopsi rekomendasi *International Radiation Protection Association* (IRPA) dan WHO 1990 untuk batas pajanan Medan Elektrik dan Medan Magnetik 50 - 60 Hz seperti yang tertera pada Tabel 1.



Gambar 1. Spektum elektromagnetik

Tabel 1. Batas pajanan medan elektrik dan medan magnetik 50 - 60 Hz

No	Klasifikasi	Medan Elektrik (kV/m)	Medan Magnetik (mili tesla)
1	Lingkungan kerja : <ul style="list-style-type: none"> o sepanjang hari kerja o waktu singkat o anggota tubuh (tangan dan kaki) 	10 30 (s/d 2 jam / hari) -	0,5 5,0 (s/d 2 jam / hari) 25
2	Lingkungan umum : <ul style="list-style-type: none"> o sampai 24 jam per hari o beberapa jam per hari **) 	5 10	0,1 (ruang terbuka) 1

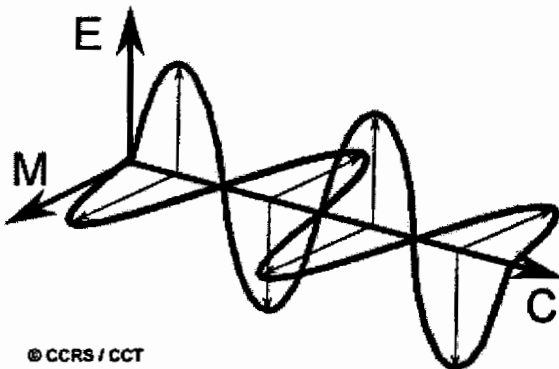
Sumber : Rekomendasi IRPA, INIRC dan WHO tahun 1990

LANDASAN TEORI

Gelombang Elektromagnetik

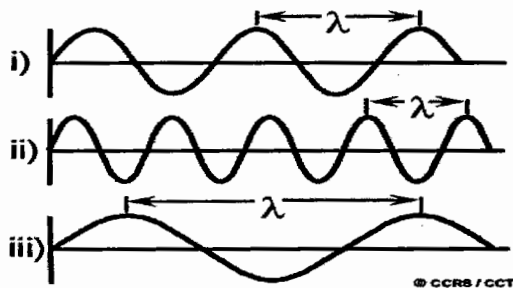
Gelombang elektromagnetik terdiri atas medan elektrik (*E*) yang besarnya berubah pada arah yang tegak lurus dengan arah pancaran radiasi, dan medan magnetik (*M*) yang juga tegak lurus arah pancaran dan medan elektrik. Kedua medan ini bekerja pada kecepatan cahaya (*C*) (Jordan, 1968).

Dua karakteristik radiasi elektromagnetik yang penting untuk diketahui adalah panjang gelombang (λ) dan frekuensi (*f*). Panjang gelombang diukur sepanjang satu puncak dan satu lembah siklus gelombang



© CCRS / CCT

Gambar 2. Gelombang elektromagnetik



© CCRS / CCT

Gambar 3. Panjang gelombang

Hubungan antara panjang gelombang dan frekuensi dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\lambda = c / f \tag{1}$$

dengan,

- λ = panjang gelombang (m)
- f = frekuensi (Hz)
- c = kecepatan cahaya (3×10^8 m/s)

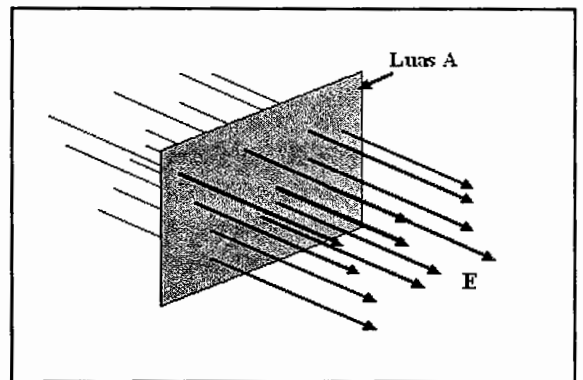
Hubungan yang berbanding terbalik ini menyebabkan semakin pendek panjang gelombangnya maka frekuensi akan semakin tinggi, demikian pula sebaliknya, semakin panjang λ maka frekuensi akan menjadi semakin rendah. (William, 1981)

Medan Elektrik

Medan elektrik adalah ruang di sekitar suatu benda bermuatan elektrik di mana benda bermuatan elektrik lainnya dalam ruang ini akan mengalami gaya elektrik. Kuat medan elektrik pada lokasi di mana muatan uji berada, didefinisikan sebagai besar gaya Coulomb (gaya elektrik) yang bekerja pada muatan uji itu dibagi dengan besar muatan uji.

$$E = F / q_0 \tag{2}$$

dengan q_0 adalah besar muatan uji. Kuat medan elektrik diukur dalam N/C atau V/m ($1 \text{ N/C} = 1 \text{ V/m}$).



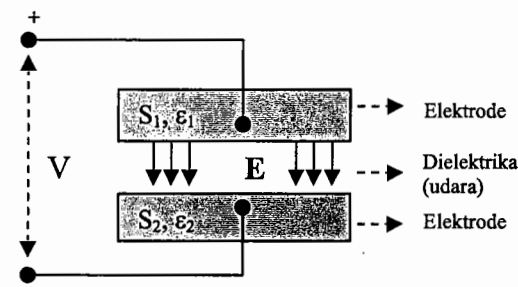
Gambar 4. Garis-garis medan elektrik

Jumlah garis-garis medan per satuan luas sebanding dengan kuat medan elektrik, sehingga jumlah garis medan yang menembus bidang seluas A sebanding dengan EA . Hasil kali antara kuat medan elektrik E dengan luas bidang A yang tegak lurus dengan medan elektrik tersebut dinamakan fluks elektrik Φ .

$$\Phi = E \cdot A \quad (3)$$

Jika medan elektrik menembus bidang tidak secara tegak lurus dan membentuk sudut θ terhadap arah normal, maka yang dipakai adalah persamaan (4).

$$\Phi = E \cdot A \cos \theta \quad (4)$$



Gambar 5. Medan elektrik pada dua elektroda sejajar

Suatu dielektrika tidak mempunyai elektron-elektron bebas, melainkan elektron-elektron terikat pada inti atom unsur yang membentuk dielektrika tersebut. Pada Gambar 5 tampak suatu bahan dielektrika (udara) yang berada diantara dua elektrode piring sejajar. Bila elektrode diberi tegangan searah atau terdapat perbedaan tegangan V , maka akan timbul medan elektrik E . Sesuai dengan Persamaan (2) menyatakan bahwa besar kuat medan elektrik adalah besar gaya per satuan muatan. Medan elektrik ini memberi gaya pada elektron-elektron agar terlepas dari ikatannya dan menjadi elektron bebas (Tobing, 2003).

$$E = \frac{V}{\frac{S_1}{\epsilon_1} + \frac{S_u}{\epsilon_u} + \frac{S_2}{\epsilon_2}} \quad (5)$$

dengan:

- E : kuat medan elektrik (kV/m)
- V : tegangan (V)
- S_1, S_2 : tebal plat 1, 2 (m)
- S_u : jarak antar plat (m)
- ϵ_1, ϵ_2 : konstanta dielektrika plat
- ϵ_u : konstanta dielektrika udara

Medan Magnetik

Medan magnetik adalah ruang di mana gaya magnetik dapat dirasakan akibat adanya muatan bergerak. Satuan medan magnetik tesla atau satuan lain gauss.

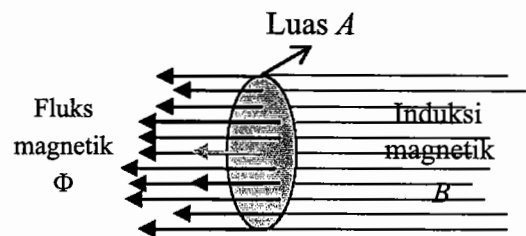
Fluks magnetik Φ didefinisikan sebagai hasil kali antara komponen induksi magnetik tegak lurus bidang B_{\perp} dan luas bidang A .

$$\Phi = B_{\perp} A \quad (6)$$

$$\Phi = B \cos \theta A \quad (7)$$

dengan θ adalah sudut antara induksi magnetik B dengan arah normal bidang, yakni arah yang tegak lurus terhadap bidang. Untuk lebih memudahkan pemahaman tentang fluks magnetik, maka fluks magnetik divisualkan dengan sejumlah garis medan magnetik yang memotong tegak lurus suatu bidang. Pada Gambar 6 tampak kerapatan fluks magnetik B seragam dalam solenoida dengan luas penampang A .

Gejala timbulnya arus elektrik pada penghantar karena pengaruh medan magnetik yang berubah disebut induksi elektromagnetik. Gaya gerak elektrik yang timbul di ujung-ujung penghantar karena perubahan medan magnetik disebut gaya gerak elektrik induksi (ggl induksi). Arus elektrik yang dihasilkan oleh ggl induksi dinamakan arus induksi.



Gambar 6. Fluks magnetik

Ggl atau arus induksi hanya timbul bila kumparan mengalami perubahan fluks magnetik dan ggl induksi pada ujung-ujung suatu kumparan sebanding dengan laju perubahan fluks magnetik.

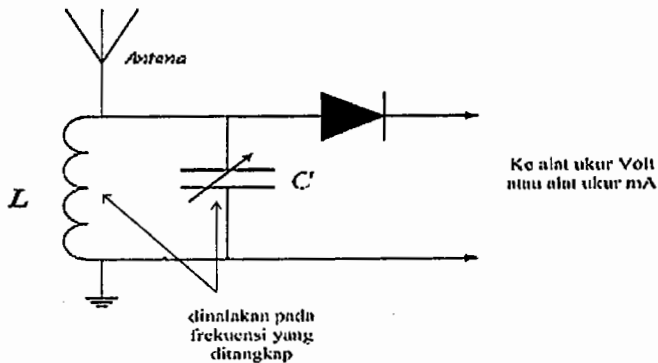
$$\epsilon = -N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \quad (8)$$

ALAT PENELITIAN

Detektor Radiasi Nonpengion

Pada dasarnya detektor ini merupakan rangkaian radio penerima langsung. Cara kerja rangkaian detektor adalah menerima sinyal-sinyal pancaran dari

sekitarnya dan kemudian ditala atau dengan kata lain diukur kuat medan gelombang radionya, kemudian diubah menjadi tegangan DC dan diperkuat agar dapat dibaca pada suatu alat ukur.



Gambar 7. Alat ukur kuat medan Elektromagnetik

Detektor ini terdiri atas beberapa komponen pendukung, diantaranya adalah rangkaian penyearah 1/2 gelombang dan rangkaian penala.

Rangkaian penala berfungsi untuk memilih satu gelombang tertentu dari sekian banyak gelombang yang mendekati pada antena penerima. Rangkaian penala terdiri atas satu kumparan induktans L dan satu kapasitor variabel dengan kapasitans C yang dirangkai secara paralel. Jika rangkaian penala disetel pada suatu pemancar tertentu, maka rangkaian penala akan membangkitkan frekuensi tinggi sama dengan frekuensi tinggi pemancar tersebut, dikatakan bahwa penerima radio beresonans dengan pemancar tersebut. Frekuensi resonans rangkaian penala adalah:

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \tag{10}$$

dengan:

f_r = frekuensi resonans (Hz)

L = induktans (H)

C = kapasitans (F)

Jika $f_r = 50 \text{ Hz}$, maka:

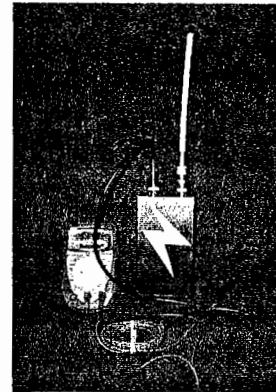
$$50 \text{ Hz} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Komponen elektronika (L dan C) yang ada di pasaran; $L = 100 \text{ mH}$ dan $C = 100 \text{ nF}$. Dari komponen tersebut, didapatkan nilai frekuensi sebesar $50,359 \text{ Hz} \approx f_r$

Cara Penggunaan Detektor

Cara mempergunakan detektor ini adalah dengan mendekatkannya pada rangkaian *transmitter*. Kemudian proses *transmit* dilakukan (pemancar pada

posisi "on"), dan jarum meter akan bergerak menunjukkan skala tertentu.



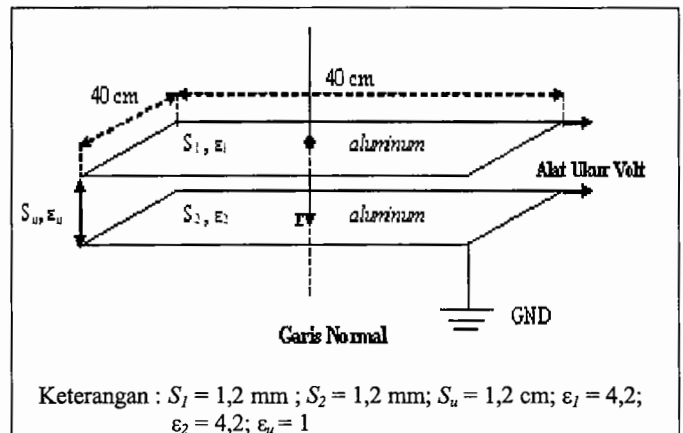
Gambar 8. Detektor radiasi nonpengion

Kalibrasi Detektor

Alat ini merupakan alat baru yang belum dikembangkan di Indonesia. Karena alat yang terkalibrasi dengan nilai standar belum ada, maka detektor ini dikalibrasi secara teoritis.

a) Kuat medan elektrik

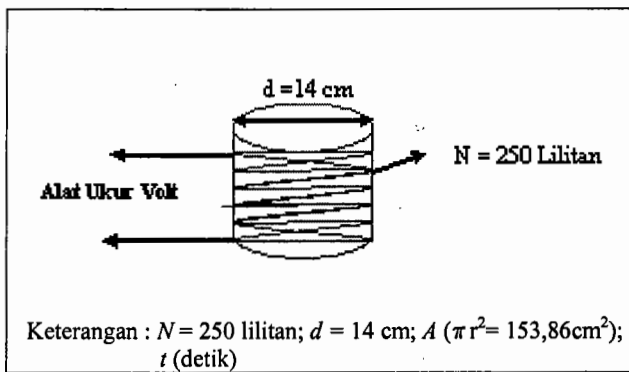
Kalibrasi nilai kuat medan elektrik dilakukan dengan melakukan perhitungan teoritis mengacu pada rumus kuat medan elektrik seperti yang tertulis pada Persamaan (5). Skema alat pengujian untuk pengukur kuat medan elektrik tampak pada Gambar 9.



Gambar 9. Skema alat pengujian untuk pengukur kuat medan elektrik

b) Medan Magnetik

Kalibrasi nilai kuat medan magnetik dilakukan dengan melakukan perhitungan teoritis mengacu pada rumus kuat medan magnetik seperti yang tertulis pada Persamaan (8). Skema alat pengujian untuk pengukur kuat medan magnetik tampak pada Gambar 10.



Gambar 10. Skema alat penguji untuk pengukur kuat medan magnetik

PROSES PENGUKURAN

Lokasi Pengukuran

Lokasi pengukuran pada lokasi jaringan SUTET 500 kV di daerah Desa Bowan, Kecamatan Delanggu, Kabupaten Klaten, Propinsi Jawa Tengah.

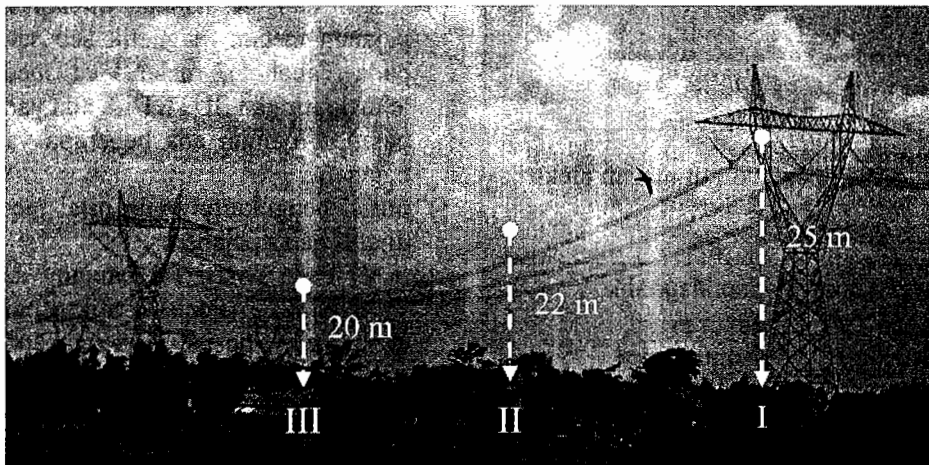
Posisi Pengukuran

Posisi pengukuran di antara dua menara SUTET yang berjarak 350 meter. (Gambar 11 dan Gambar 12).

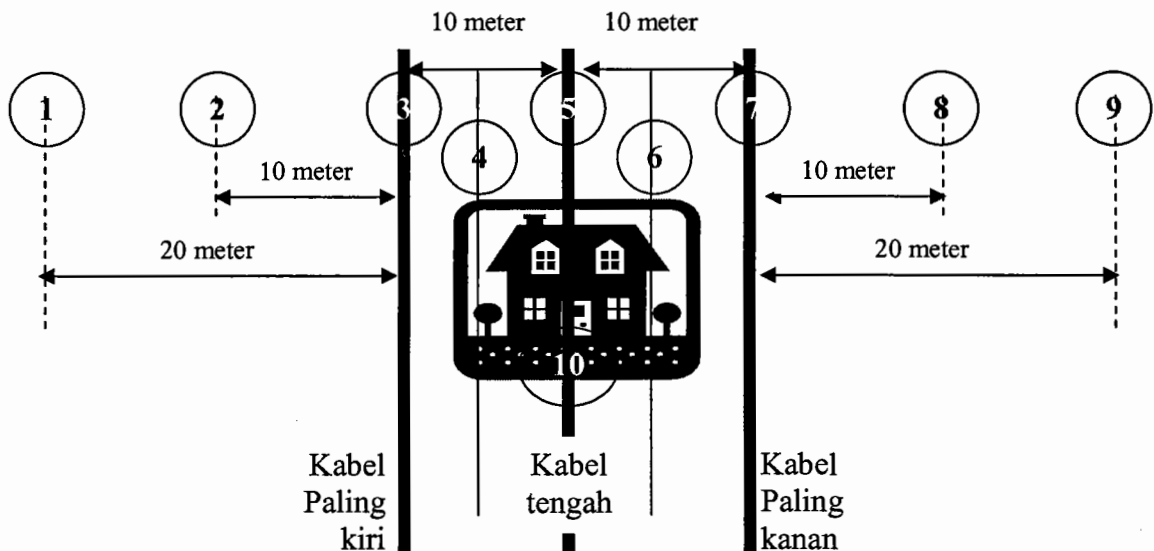
- Posisi I tepat di bawah menara SUTET (tinggi kabel 25 meter dari muka tanah)
- Posisi II berjarak 87,5 meter dari menara (tinggi kabel = 22 meter dari muka tanah)
- Posisi III berjarak 175 meter dari menara SUTET (tinggi kabel = 20 meter dari muka tanah)

Hasil Pengukuran

Pengukuran dilaksanakan pada siang hari, pukul 13.00 WIB dengan kondisi cuaca hujan mendung. Hasil pengukuran tertera pada Tabel 2 dan divisualisasikan dalam bentuk grafik pada Gambar 13 dan Gambar 14.



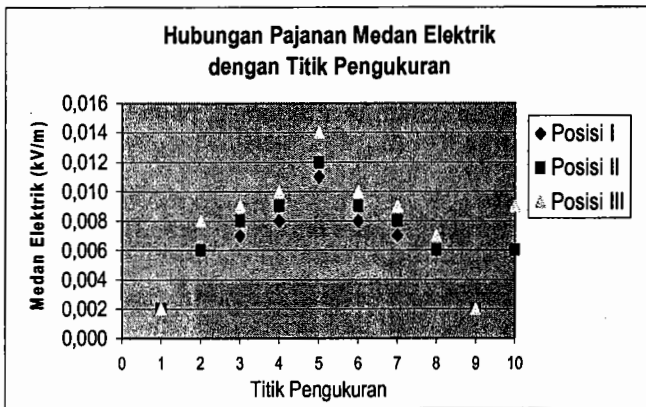
Gambar 11. Gambar lokasi pengukuran



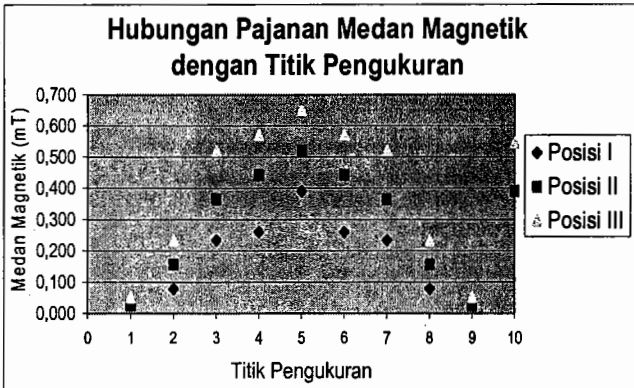
Gambar 12. Posisi titik-titik pengukuran

Tabel 2. Data Hasil Pengukuran

SATUAN	POSISI	TITIK PENGUKURAN									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Medan Elektrik (kV/m)	I	0,002	0,006	0,007	0,008	0,011	0,008	0,007	0,006	0,002	
	II	0,002	0,006	0,008	0,009	0,012	0,009	0,008	0,006	0,002	0,006
	III	0,002	0,008	0,009	0,010	0,014	0,010	0,009	0,007	0,002	0,009
Medan Magnet (mT)	I	0,026	0,078	0,234	0,260	0,390	0,260	0,234	0,078	0,026	
	II	0,026	0,156	0,364	0,442	0,520	0,442	0,364	0,156	0,026	0,390
	III	0,052	0,234	0,520	0,572	0,650	0,572	0,520	0,234	0,052	0,546



Gambar 13. Data hasil pengukuran medan elektrik



Gambar 14. Data hasil pengukuran medan magnetik

Dari data hasil pengukuran yang tampak pada Tabel 2 dan grafik yang tampak pada Gambar 13 dan Gambar 14 dapat diambil kesimpulan bahwa:

- di lokasi jaringan SUTET tersebut terdapat radiasi nonpengion berupa medan elektrik dan medan magnetik yang nilai kuat medannya bervariasi tergantung posisi pengukuran;
- nilai maksimum kuat medan elektrik di lokasi jaringan SUTET itu adalah 0,014 kV/m (pada posisi III titik pengukuran '5');

- sesuai dengan standar ditetapkan tentang batas pajanan medan elektrik sebesar 10 kV/m (tertera pada Tabel 1), maka kuat medan elektrik di lokasi jaringan SUTET itu masih jauh di bawah batas pajanan;
- nilai maksimum kuat medan magnetik di lokasi jaringan SUTET itu adalah 0,650 mT (pada posisi III titik pengukuran '5');
- sesuai dengan standar ditetapkan tentang batas pajanan medan magnetik sebesar 0,5 mT (tertera pada Tabel 1), maka kuat medan magnetik di lokasi jaringan SUTET itu ada yang di bawah batas pajanan, namun ada beberapa yang di atas batas pajanan.
- posisi pengukuran yang nilai medan magnetiknya di atas batas pajanan:
 - Pada posisi ¼ panjang kabel dari menara SUTET (Posisi II titik pengukuran '5').
 - Pada posisi pertengahan di antara dua menara SUTET (Posisi III titik pengukuran '3', '4', '5', '6' dan '7').
 - Pada posisi pertengahan di antara dua menara SUTET (Posisi III titik pengukuran '10').

KESIMPULAN

- Detektor radiasi nonpengion ini mampu mendeteksi kuat radiasi nonpengion (gelombang elektromagnetik) seperti kuat medan elektrik dan medan magnetik di sekitar SUTET.
- Nilai maksimum hasil pengukuran radiasi nonpengion (medan elektrik) di lokasi jaringan SUTET yang diukur adalah 0,014 kV/m, maka kuat medan elektrik di lokasi jaringan itu di bawah batas pajanan (standar internasional).
- Nilai maksimum hasil pengukuran radiasi nonpengion (medan magnetik) di lokasi jaringan SUTET yang diukur adalah 0,650 mT, maka kuat medan magnetik ada yang di bawah batas pajanan dan ada beberapa yang di atas batas pajanan (standar internasional).

SARAN

Perlunya diadakan penelitian lebih lanjut secara terpadu secara teknis, medis, sosial beserta aspek-aspek ekonominya tentang SUTET, pengukuran radiasinya, dampak yang ditimbulkannya dan solusi perbaikan agar masyarakat dapat memanfaatkan kehadiran dan menerima kehadiran SUTET beserta aspek sosial-ekonomisnya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada Memory, Rony, Martinus, Ita, Temi, Irvan dan rekan-rekan peneliti lainnya yang telah membantu terlaksananya penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Jordan, C. E. and G. K. Balman, 1968, *Electromagnetic Waves and Radiation Systems*, Prentice-Hall, Inc, Engliwood Clieffs, New Jersey.
- Knoll, F, Glenn. 1979, *Radiation Detection and Measurement*, John Wiley & Sons, New York Chichester Brisbane Toronto.
- Tobing, B. L, 2003, *Dasar Teknik Pengujian Tegangan Tinggi*, PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Tobing, B. L, 2003, *Peralatan Tegangan Tinggi*, PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Wasito S., *Pelajaran Elektronika 2b Tehnik Transmisi*
- William H. H., 1981, *Engineering Electromagnetikics*, McGraw-Hill, ISBN 0-07-027395-2
- World Health Organisation (WHO), *fact sheets on Electromagnetikic Fields and Public Health*. http://www.who.int/peh-emf/publications /facts-press/ fact_english.htm